

Verfahren zum Trennen von Lichtleitfasern mittels CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Trennen von Lichtleitfasern mittels CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung. Es ist für eine breite Palette solcher Fasern einsetzbar, die von Monomode- über Multimode- bis hin zu Gradientenfasern mit unterschiedlichsten anwenderspezifischen Durchmessern reicht. Auch ummantelte Fasern können mit dieser Methode getrennt werden. Speziell ist dieses Verfahren geeignet zur Konfektionierung von Faserendflächen in Steckern oder speziellen Endflächen für die Kupplung zu elektro-optischen Wandlern von Einzelglasfasern und Faserbündchen. Es zeichnet sich durch große Flexibilität, hohe Qualität der Trennflächen und somit geringe Nacharbeit sowie durch eine hohe Arbeitsgeschwindigkeit und die Möglichkeit der Automatisierung des Trennprozesses aus.

Mit der weltweiten Umstellung der breitbandigen Datenübertragung auf Lichtleitfasern einher geht die Notwendigkeit der effizienten Konfektionierung dieser Fasern in den unterschiedlichsten Anwendungsbereichen. Ein Grundproblem stellt dabei aufgrund der hohen Ebenheitsanforderungen an die entstehende Endfläche, die im Allgemeinen eine dämpfungsarme Kopplung der Faser zu anderen optischen bzw. optoelektronischen Bauelementen ermöglichen muss, das einfache Trennen dar.

Im Gegensatz zu den Hightech Verfahren der Herstellung und der Applikationen der Fasern wirkt der gegenwärtige Stand der Technik des Fasertrennens eher altertümlich.

Nach wie vor sind die üblichen Verfahren des Trennens von Fasern rein manuell. Z.B. werden Trenngeräte auf der Basis des Anritzens der Faser mittels einer Diamantspitze genutzt. Die typische Arbeitsweise ist so, dass die abgemantelte Faser in eine große Führungsnut gelegt wird. Die exakte Bestimmung der Faserendlänge wird durch eine einstellbare Begrenzung oder durch eine Skalierung ermöglicht. Durch Schließen des Werkzeuges

wird die Faser fixiert und vorgespannt, anschließend ritzt eine Diamantklinge die Faser an und erzielt einen zur Faserachse rechtwinkligen bzw. einen um  $8^\circ$  vom rechten Winkel abweichenden Bruch. Bei ummantelten Fasern ist ein Abmanteln an der Bearbeitungsstelle nötig.

- 5 Noch einfacher in ihrer Funktion sind Diamant-Faserritzwerkzeuge (Cleaving Knifes) im Kugelschreiberformat, bei denen das Trennen (Brechen) der optischen Fasern durch leichtes Anritzen der Faseroberfläche (Kern bei Fasern mit Kunststoffcladding bzw. Cladding bei Quarz/Quarz-Fasern) erfolgt. Durch Ziehen der Faser übt man eine zur Faserachse axiale Kraft auf die  
10 angeritzte Stelle aus, die Faser bricht.

Die genannten Verfahren sind im Allgemeinen nur für Einzelfasern geeignet und optimiert. Versagen sie völlig, z.B. beim Trennen von Faserbündchen, wird die sehr grobe Methode des „Abschlagens“ verwendet, bei der natürlich sehr stark gestörte Trennflächen entstehen, die hohen  
15 nachträglichen Polieraufwand erfordern.

- Allen mechanischen Verfahren ist eine Reihe von gravierenden Nachteilen gemeinsam. So kann z.B. der Trennvorgang nicht automatisiert werden. Die Verfahren sind sehr unflexibel, akzeptable Resultate sind jeweils nur für spezielle Faserformen und Konfektionierungen erzielbar. Typisch für die  
20 Trennfläche sind Ausplatzungen, verbleibende überstehende Glasspitzen und Mikrorisse, so dass erheblicher Arbeitsaufwand in die Nachbearbeitung gesteckt werden muss.

- Zum Trennen mittels Laser scheint grundsätzlich der  $\text{CO}_2$  Laser geeignet zu  
25 sein, dessen Strahlung sich durch eine hohe Absorption aller für Lichtleitfasern geeigneten Glassorten, aber auch der Kunststoffe, die zur Ummantelung eingesetzt werden, auszeichnet.

- Zum Trennen spröder Werkstoffe, insbesondere von Glas, mittels Laser sind aus dem Stand der Technik eine unüberschaubare Anzahl von Verfahren  
30 bekannt. Meist wird ein  $\text{CO}_2$  Laser als Strahlungsquelle eingesetzt.

Grundsätzlich unterscheiden sich diese Verfahren in solche, bei denen das Material entlang der gewünschten Trennlinie über die Transformations- bzw. Erweichungstemperatur erhitzt wird (Schmelzschnitten) und solche, bei denen mittels Laser eine thermische Spannung induziert wird, die spontan oder nach Setzen eines Initialrisses zum Bruch entlang der Trennlinie führt (Brechen). Für das Trennen mittels Schmelzschnitten sei hier beispielhaft die EP 0 062 484 genannt. Verfahren, bei denen Glas durch die Erzeugung von Bruchspannungen getrennt wird, sind z.B. in der DE 28 13 302, DE 43 05 107, US 3,543,979 und US 5,084,604 beschrieben. Insbesondere bei dieser Art von Verfahren ist die Verbesserung der Qualität der Trennfläche regelmäßig die Aufgabe der Erfindung.

Wie es sich bei der praktischen Erprobung jedoch gezeigt hat, sind sowohl das Schmelzschnitten als auch das Brechen nicht geeignet, um Lichtleitfasern mit der erforderlichen Qualität der Trennfläche zu trennen.

Es ist die Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren bereitzustellen, das die Trennung unterschiedlichster Formen von Lichtleitfasern wie Mono- und Multimodefasern, Gradientenfasern, Glas- und Kunststofffasern als Einzelfaser oder Faserverbund, mit und ohne Ummantelung mit höchstmöglicher Präzision der Positionierung der Trennfläche und einer hohen Qualität der Trennfläche ermöglicht. Das Verfahren soll geeignet sein, Trennflächen rechtwinklich zum Faserkern aber auch geneigt zum Faserkern zu erzeugen. Die erforderliche Nacharbeit der Trennfläche soll minimal sein oder sogar ganz wegfallen. Das Verfahren soll vollständig automatisierbar sein. Diese Aufgabe wird für ein Verfahren zum Trennen von Lichtleitfasern mittels CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 dadurch gelöst, dass aus der CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung ein Arbeitsstrahl 8 bestehend aus Einzelpulsen mit den Strahlungsparametern Impulsspitzenleistung  $\hat{P}$ , einige W  $\leq \hat{P} \leq$  1 kW, Impuls-Halbwertsbreite  $\tau_{\text{imp}}, 10^{-5} \text{ s} \leq \tau_{\text{imp}} \leq 10^{-4} \text{ s}$  und Impulsfolgefrequenz  $f_{\text{imp}}, 100 \text{ Hz} \leq f_{\text{imp}} \leq$  mehrere kHz ausgekoppelt wird und dass der Arbeitsstrahl 8 auf eine

fixierte Lichtleitfaser fokussiert und in einer Ebene entlang einer Bearbeitungszone hin- und herbewegt wird, so dass pro Einzelimpuls ein Elementarvolumen, annähernd gleich dem Produkt aus optischer Eindringtiefe  $d$  und auftreffendem Strahlquerschnitt, mit einem Durchmesser etwa gleich dem Fokusedurchmesser  $d_f$ , auf alle Fälle jedoch kleiner  $2 d_f$  abgetragen wird, bis die Lichtleitfaservollständig durchtrennt ist.

Es ist erfindungswesentlich, dass der Trennprozeß unabhängig von der konkreten Beschaffenheit der zu trennenden Einzelfaser oder des Faserverbundes (Objekt), nicht wie aus dem Stand der Technik für Glas bekannt „in einem Zuge“ durch intensive Strahlung eines CO<sub>2</sub>-Lasers erfolgt, sondern durch ein dem jeweiligen Material angepasstes spezielles Impulsregime mittels dem auf eine für die Faser extrem schonende Art und Weise Puls für Puls kleinste Werkstoffvolumina entlang einer Linie so lange in einem „sägeähnlichen“ Prozess abgetragen werden, bis die vollständige Trennung erreicht ist. Das heißt, der Gesamttrennschnitt setzt sich aus einer Vielzahl von Einzeltrennschnitten zusammen. Die Größenordnung der abgetragenen Werkstoffvolumina, nachfolgend „Elementarvolumina“ genannt, bestimmt sich aus dem Produkt von Strahlquerschnittsfläche in der Bearbeitungsebene und Eindringtiefe in das Material. Um die Strahlquerschnittsfläche möglichst klein zu halten, wird die Laserstrahlung vorteilhafterweise auf die Oberfläche des noch unbearbeiteten Objektes fokussiert und so geformt, dass die Rayleighlänge größer dem Gesamtdurchmesser des Objektes ist.

Dabei wird die Spitzenleistung der Impulse und ihre Dauer (und damit die Impulsenergie) so gewählt, dass gerade ein solches Elementarvolumen durch einen Impuls abgetragen (im Wesentlichen verdampft) wird. Man hat es dann mit einem absorptionskontrollierten Abtrag zu tun, bei dem der auftretende Anteil des geschmolzenen Materials und damit die Neigung zu Mikrorissen minimiert wird.

Um mit dem erfindungsgemäßen Verfahren Lichtleitfasern trennen zu können, deren Gesamtdurchmesser  $> 0,1$  mm beträgt, ist natürlich eine sehr hohe Anzahl von Einzelimpulsen erforderlich. Um zu vernünftigen Bearbeitungsgeschwindigkeiten zu kommen, sollte deshalb die  
5 Folgefrequenz ausreichend groß, typisch in der Größenordnung kHz liegen.

Um dadurch jedoch die günstige Wirkung des Elementarvolumen-Abtrags nicht wieder zu eliminieren, ist eine so schnelle Bewegung des fokussierten Laserstrahls über die Probe erforderlich, dass die Pulse mit einer gewissen Überlappung nebeneinander auftreten und damit die Elementarvolumina  
10 sich überlappend abgetragen werden. Vorteilhaft beträgt die Überlappung etwa 70%. Bei einem Überlauf des Strahls über die Einzelfaser bzw. den Faserverbund entsteht damit eine Schnitttiefe, die nicht wesentlich die Eindringtiefe der Strahlung in das Fasermaterial und damit die Größenordnung von  $10\text{ }\mu\text{m}$  übersteigt.

15 Der Gesamttrennschnitt wird durch eine entsprechende Anzahl von Überläufen des Strahls über die Einzelfaser bzw. den Faserverbund erreicht (Einzeltrennschnitte).

Der zeitliche Abstand zwischen der Erzeugung der Einzeltrennschnitte sollte so groß gewählt sein, dass eine ausreichende Abkühlung der zuletzt  
20 bearbeiteten Zone erfolgt. Dies dient wieder dem Ziel, keine größeren Schmelzanteile durch unzulässig hohe Aufsummierung der eingebrachten Strahlungsleistung zu erzeugen. Vorteilhaft ist eine Abkühlzeit von größenordnungsmäßig  $10^{-2} \dots 10^{-1}$  s.

Zurückkommend auf die anschauliche Darstellung des Verfahrens als  
25 „sägeähnlichen“ Prozeß entsprechen die Sägezähne den Strahlungsimpulsen und die Hin- und Herbewegung der „Säge“ den einzelnen Überläufen der Strahlung über die Einzelfaser bzw. den Faserverbund.

Das Verfahren ermöglicht es, nicht nur zu den Faserachsen senkrechte  
30 Schnitte durchzuführen, sondern einen weiten Winkelbereich für die Lage der Trennfläche zu den Faserachsen zu erschließen. Dabei wirkt sich die

Herstellung des Gesamttrennschnittes durch eine Vielzahl von Einzeltrennschnitten außerordentlich günstig auf die Präzision des gewünschten Winkels aus, da die Ausbildung der resultierenden Trennfläche nur in geringem Maße durch die Oberflächenspannung der beim Trennprozess auftretenden Schmelzanteile beeinflusst wird.

Ein weiterer Vorzug des Verfahrens beruht auf der Tatsache, dass alle Bestandteile der in Frage kommenden Faserkonfiguration, also die unterschiedlichsten Glassorten, Kunststoffe für die Ummantelung oder auch Kleber, auf ähnliche Weise CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung absorbieren, so dass alle diese Bestandteile mit einem optimierten Impulsregime getrennt werden können, wobei sich die Optimierung selbstverständlich vorrangig auf Faserkern und Fasermantel konzentriert.

Die Erfindung soll nachstehend anhand von in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. Es zeigen:

- Fig. 1a     Aufbau einer ummantelten Lichtleitfaser vor der Trennung
- Fig. 1b     die ummantelte Lichtleitfaser nach der Trennung
- Fig. 2     Grundaufbau einer Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens
- Fig. 3     Typischer Impulszug der auftreffenden Strahlung
- Fig. 4     Hilfsdarstellung zur Erläuterung des Verfahrensablaufes
- Fig. 5     Draufsicht auf die Schnittfuge – Überlappung der Einzelimpulse
- Fig. 6     Hilfsdarstellung zur Erläuterung des Verfahrens an einem Faserverbund
- Fig. 7     Hilfsdarstellung zur Erläuterung des Verfahrens an einer Einzelfaser unter definiertem Winkel zur Faserachse

An Hand der Fig. 1a und 1b soll das Grundproblem beim Trennen einer ummantelten Einzelfaser mittels Laserstrahlung gezeigt werden.

Die prinzipiellen Schwierigkeiten bestehen erstens in der geforderten hohen Präzision des Schnittes und zweitens in der Tatsache, dass die aus einem Faserkern 1, einem Fasermantel 2 und einer Schutzummantelung 3 und damit aus drei unterschiedlichen Werkstoffen bestehende Lichtleitfaser mit gleichen Strahlungsparametern getrennt werden soll.

Das hat grundsätzlich zur Folge, dass die Schutzummantelung 3, die im Allgemeinen aus einem Kunststoff besteht, wegen der wesentlich geringeren Abtragsschwelle im Vergleich zum Faserkern 1 und dem Fasermantel 2, auf einem wesentlich größeren Bereich abgetragen wird, d.h. nach dem Trennvorgang tritt die Schutzummantelung 3 um eine Strecke  $s$  hinter das Faserende zurück.

Darüber hinaus wird die Trennfläche über den Faserkern 1 und den Fasermantel 2 nie ideal eben sein, sondern eine gewisse Rundung mit der Pfeilhöhe  $h$  aufweisen. Um im Hinblick auf die Faserkopplung eine möglichst ebene Trennfläche zu erreichen, muss die Pfeilhöhe  $h$  möglichst klein gehalten werden, so dass entweder völlig auf eine Nachbearbeitung der Trennflächen verzichtet werden kann oder der dafür erforderliche Aufwand so klein wie möglich ist. Entscheidend hierfür ist, dass das stufenweise Trennen durch den Abtrag einzelner Elementarvolumina mit jeweils einem auf den Werkstoff optimierten Impulsregime erfolgt.

Zur Erläuterung des Verfahrens ist in Fig. 2 ein typischer Grundaufbau für eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens illustriert, die wenigstens einen CO<sub>2</sub>-Laser 6, eine Modulatoreinheit 7, eine Strahlauffangeinheit 11, eine Strahlableiteneinheit 12, eine justierbare Halteeinrichtung 14 und eine zentrale Steuereinheit 17 umfasst.

Die im Allgemeinen kontinuierliche Strahlung 4 des CO<sub>2</sub>-Lasers 6 wird mittels der Modulatoreinheit 7, die im Regime der „Doppeltransmission“ arbeitet, in zwei Strahlanteile zerlegt, einen Arbeitsstrahl 8 und einen Reststrahl 9 (vgl. Patent DE 40 4 744 C 2). Dabei werden aus dem Laserstrahl 4 periodisch Impulse ausgekoppelt, deren Parameter in weiten

Grenzen variiert und dem jeweiligen Trennprozess optimal angepasst werden können. Der Reststrahl 9 wird durch eine Strahlauffangeinheit 12 abgefangen, wobei dies entweder einfach ein Absorber ist, der die Strahlung vernichtet, oder ein Messgerät, mit dem z.B. die Konstanz der Strahlungsleistung online überwacht werden kann.

Durch eine Strahlführungseinheit 10, symbolisiert durch einen Spiegel, wird der Arbeitsstrahl 8 in eine Strahlablenkeinheit 12 gelenkt. Dies kann vorteilhaft ein Scanner mit integrierter Fokussiereinrichtung (z.B. mit einer F- $\Theta$ -Linse) sein, der für die erforderliche rasche Bewegung des fokussierten Arbeitsstrahls 8 um einen Auslenkwinkel  $\Theta$  über das zu bearbeitende Objekt 13 sorgt. Bei dem zu bearbeitenden Objekt 13 kann es sich um eine einzelne Lichtleitfaser (Einzelfaser) mit und ohne Ummantelung, ein Bündel von Lichtleitfasern (Faserverbund) mit und ohne Ummantelung oder auch um Faserkomponenten handeln. Das Objekt 13 ist auf einer justierbaren Präzisionshalterung 14 fixiert, die einerseits eine präzise x-y-Positionierung, z.B. im Genauigkeitsbereich 1/100 mm des Objektes gestattet und andererseits die Einstellung definierter Winkel  $\varphi$  zwischen Faserachse und Einstrahlebene und somit präzise Schrägschnitte ermöglicht.

Schließlich kann dieser Grundaufbau durch eine Zuführungseinrichtung 15 und eine Abführungseinrichtung 16 ergänzt werden, so dass der gesamte Prozess automatisch ablaufen kann. Die zentrale Steuereinheit 17 sorgt für die taktgerechte Ansteuerung aller relevanten Komponenten.

Eine zentrale Stellung im Verfahren nimmt die richtige Wahl der Impulsparameter des Arbeitsstrahles 8 ein. Fig. 3 illustriert einen charakteristischen Impulszug, der im Modulator 7 generiert und als Arbeitsstrahl 8 für den Trennprozess genutzt wird. Die relevanten Parameter des Impulszuges – Impulsspitzenleistung  $\hat{P}$ , Impuls-Halbwertsbreite  $\tau_{\text{imp}}$  und Impuls-Folgefrequenz  $f_{\text{imp}}$  – können durch die eingesetzte Modulatortechnik in weiten Grenzen variiert und für das Trennen des jeweiligen Objektes optimiert werden.



Typische Parameterbereiche sind:

einige W  $\leq \dot{P} \leq$  1 kW

$10^{-5} \text{ s} \leq \tau_{\text{imp}} \leq 10^{-4} \text{ s}$

$100 \text{ Hz} \leq f_{\text{imp}} \leq$  mehrere kHz.

- 5 Die Pulsparameter werden abhängig von den Materialparametern des zu trennenden Objektes so gewählt, dass die vom Objekt absorbierte Strahlungsleistung pro Impuls eine dünne Oberflächenschicht von wenigen  $\mu\text{m}$  (optische Eindringtiefe  $d$ ) auf seine Verdampfungstemperatur aufheizt. Mit der Verdampfung werden die im Randbereich der Verdampfungszone entstehenden Schmelzanteile mit ausgetrieben. Der Austrieb des
- 10 Materialdampfes und der Schmelzanteile kann durch Beblasung der Probe mit einem Arbeitsgas, beispielsweise eignet sich für Glasfasern gereinigte Preßluft bei ca. 1 bar Arbeitsdruck, unterstützt werden.
- Der Austrieb pro Impuls stellt das vorstehend definierte Elementarvolumen
- 15 annähernd gleich Produkt aus optischer Eindringtiefe  $d$  und auftreffenden Strahlquerschnitt dar.

- Das Verfahren soll an Hand der Fig. 4 und 5 für das Trennen einer Einzelfaser erläutert werden. Entsprechend Fig. 4 wird der modulierte und auf die
- 20 Oberfläche der noch unbearbeiteten Einzelfaser fokussierte Arbeitsstrahl 8 über die Einzelfaser bewegt, indem der Arbeitsstrahl 8 um den Auslenkwinkel  $\Theta$  hin und her geschwenkt wird. Bei jedem Überstreichen erfolgt ein Materialabtrag annähernd um die optische Eindringtiefe  $d$  in der Größenordnung  $10^{-5} \text{ m}$ , nachfolgend Teilschnitt genannt.

- 25 Um für die einzelnen Teilschnitte weitgehend gleiche Fokussierbedingungen zu haben, sollte die Rayleighlänge  $z_R$  des fokussierten Strahles – sie charakterisiert den Bereich der Strahlkaustik, in dem die Intensität um maximal einen Faktor 2 variiert –, größer sein als der
- 30 Gesamtdurchmesser  $D$  der Faser. Dadurch wird gewährleistet, dass der

Strahldurchmesser in der jeweiligen Bearbeitungsebene immer kleiner  $2 d_r$  ist.

Fig. 5 zeigt die Draufsicht auf die Schnittfuge etwa in dem Stadium des Trennprozesses, welcher der Durchtrennung des halben Faserquerschnittes entspricht. Als weiterer relevanter Verfahrensparameter ist hier der Abstand  $a$  benachbarter Elementarvolumina zu sehen, also die Überlappung der Einzelimpulse, die im typischen Fall ca. 70% betragen sollte.

Ein weiteres Anwendungsbeispiel illustriert Fig. 6 schematisch – die Durchtrennung eines Faserbündels aus drei Einzelfasern. Dabei gelten für die Ausbildung der Schnittfuge 5 letztlich die analogen Aussagen, wie sie für die Einzelfaser diskutiert wurden.

Besonders hohe Anforderungen an das Verfahren stellt das Trennen von Einzelfasern und Faserbündeln unter definiertem Winkel  $\varphi$  zwischen der Faserachse und der Trennebene. Die geometrischen Verhältnisse für diesen Fall zeigt Fig. 7.

## Aufstellung der verwendeten Bezugszeichen

	1	Faserkern
	2	Fasermantel
5	3	Schutzmantel
	4	Laserstrahl
	5	Schnittfuge
	6	CO <sub>2</sub> -Laser
	7	Modulatoreinheit
10	8	Arbeitsstrahl
	9	Reststrahl
	10	Strahlführungseinheit
	11	Strahlauffangeinheit
	12	Strahlablenkeinheit
15	13	Objekt
	14	Justierbare Präzisionshalterung
	15	Zuführungseinrichtung
	16	Abführungseinrichtung
	17	Zentrale Steuereinheit
20		
	s	Strecke
	h	Pfeilhöhe
	$\hat{P}$	Impulsspitzenleistung
	$\tau_{\text{imp}}$	Impuls-Halbwertsbreite
25	$f_{\text{imp}}$	Impuls-Folgefrequenz
	d	optische Eindringtiefe
	$Z_R$	Rayleighlänge
	D	Gesamtdurchmesser
	$d_f$	Fokusbereich

## Patentansprüche

- 5 1. Verfahren zum Trennen von Lichtleitfasern mittels CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung, dadurch gekennzeichnet,  
dass aus der CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung ein Arbeitsstrahl (8), bestehend aus Einzelpulsen mit den Strahlungsparametern Impulsspitzenleistung  $\hat{P}$ , einige  $W \leq \hat{P} \leq 1 \text{ kW}$ , Impuls-Halbwertsbreite  $\tau_{\text{imp}}, 10^{-5} \text{ s} \leq \tau_{\text{imp}} \leq 10^{-4} \text{ s}$   
10 und Impulsfolgefrequenz  $f_{\text{imp}}, 100 \text{ Hz} \leq f_{\text{imp}} \leq \text{mehrere kHz}$  ausgekoppelt wird,  
dass der Arbeitsstrahl (8) auf eine fixierte Lichtleitfaser fokussiert und in einer Ebene entlang einer Bearbeitungszone hin- und herbewegt wird, so dass pro Einzelimpuls ein Elementarvolumen, annähernd gleich dem  
15 Produkt aus optischer Eindringtiefe  $d$  und auftreffendem Strahlquerschnitt, mit einem Durchmesser etwa gleich dem Fokusbereich  $d_f$ , auf alle Fälle jedoch kleiner  $2 d_f$  abgetragen wird, bis die Lichtleitfaser vollständig durchtrennt ist.
- 20 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
dass zwischen den einzelnen Hin- und Herbewegungen über die Lichtleitfaser eine Abkühlphase im Bereich von 10...100 ms eingelegt wird, um eine ausreichende Abkühlung der Bearbeitungszone zu gewährleisten.
- 25 3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
dass die Strahlungsparameter während der Bearbeitung in Abhängigkeit von den Materialeigenschaften der unterschiedlichen Werkstoffe der Lichtleitfaser angepasst werden.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
dass die Lichtleitfasern Einzelfasern unterschiedlicher Form und Dicke, z.B. Monomode- und Multimodefasern, Gradientenfasern oder ummantelte und nicht ummantelte Fasern sein können.

5

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
dass das Verfahren auch auf Faserbündel und Faserkomponenten anwendbar ist.

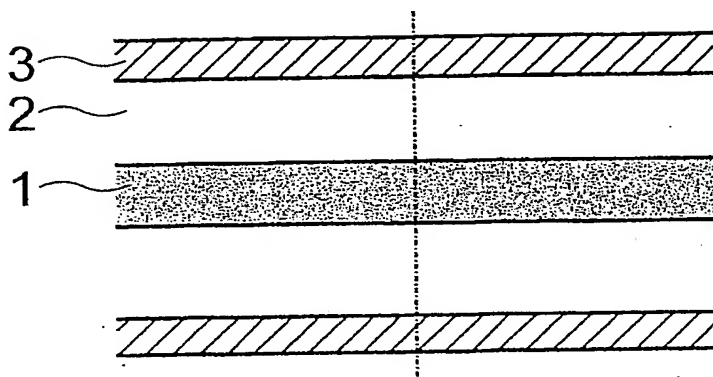
10

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
dass ein Elementarvolumen sehr klein, d.h. kleiner  $10^{-3}$  gegenüber dem Gesamtabtrag bei der vollständigen Durchtrennung und insbesondere die optische Eindringtiefe  $d$  bei einem einzelnen Überlauf des Strahlbündels über die Probe klein gegen den Durchmesser des Faserkerns (1) ist.

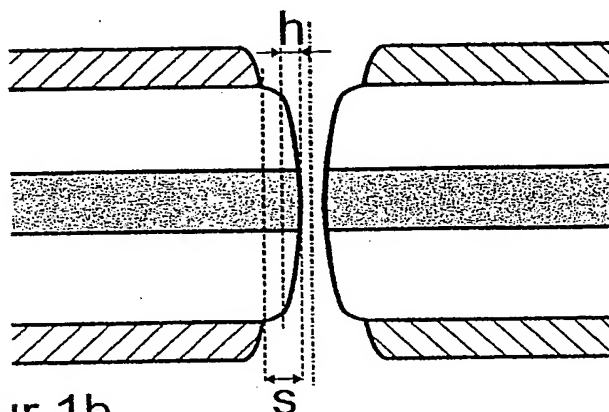
15

7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
dass die Bearbeitungszone mit einem Arbeitsgas beblasen wird, beispielsweise gereinigter Preßluft bei ca. 1 bar Arbeitsdruck, um die entstehenden Materialdämpfe aus der Bearbeitungszone abzuführen.

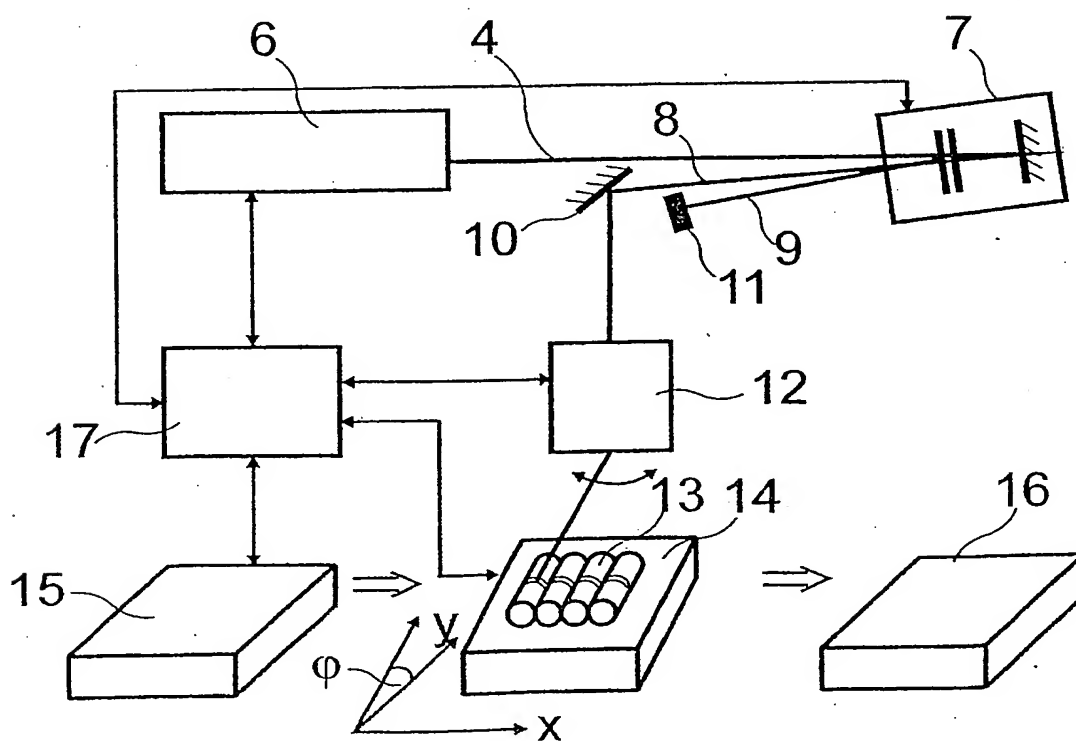
20



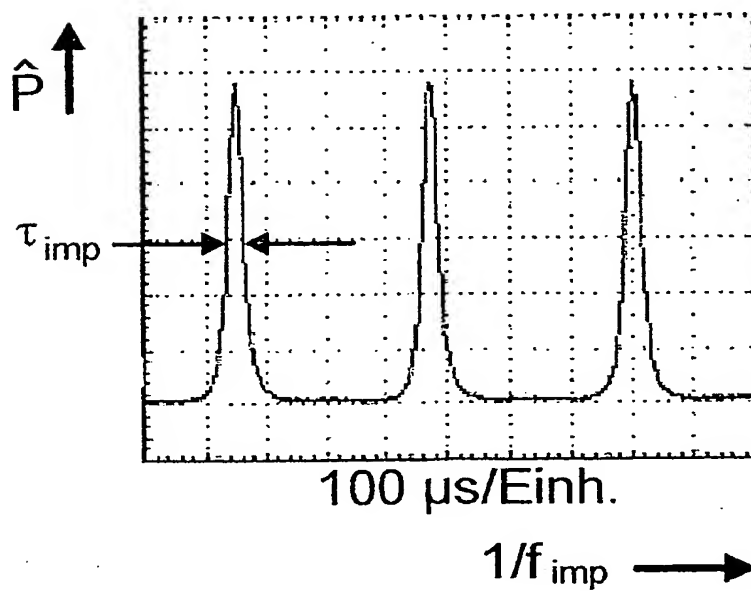
Figur 1a



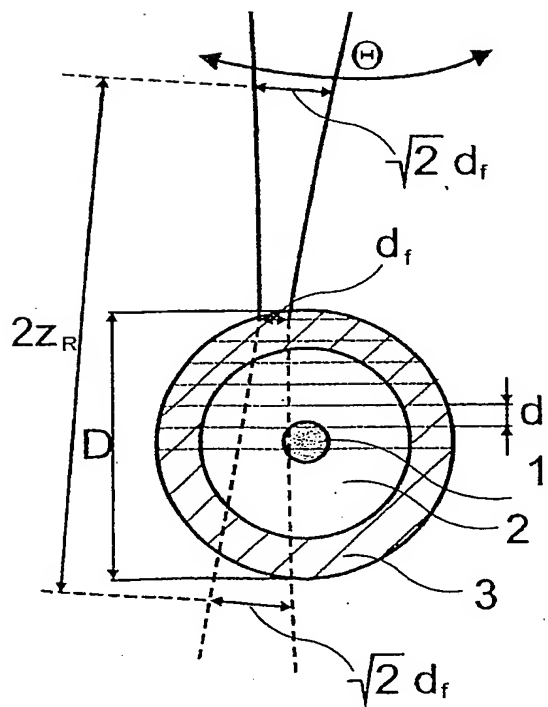
Figur 1b



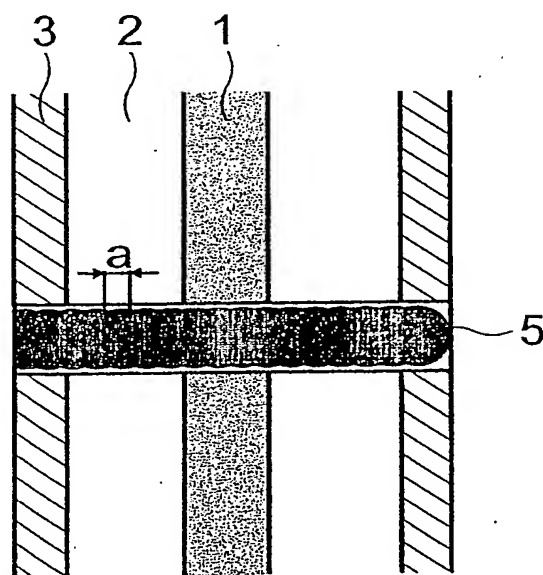
Figur 2



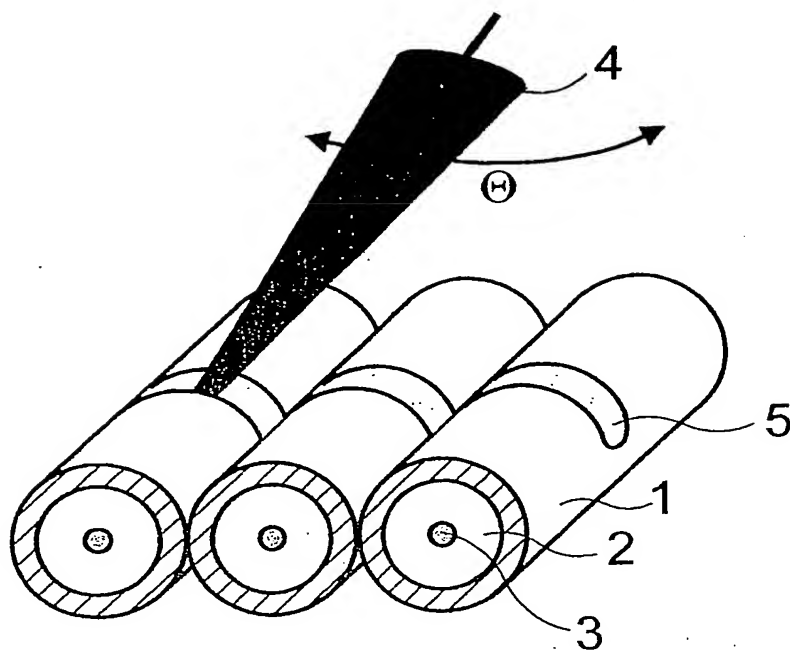
Figur 3



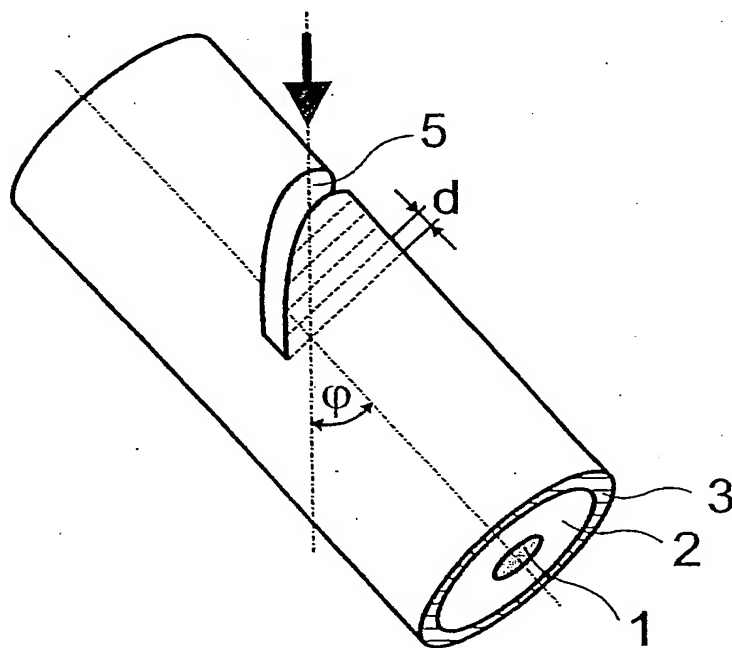
Figur 4



Figur 5



Figur 6



Figur 7



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 00/04693

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
 IPC 7 G02B6/25 B23K26/40

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
 IPC 7 G02B B23K C03B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP 0 987 570 A (WHITAKER CORP) 22 March 2000 (2000-03-22) the whole document	1-7
Y	US 4 710 605 A (PRESBY HERMAN M) 1 December 1987 (1987-12-01) the whole document	1-7
Y	US 4 467 168 A (HINKENS DALE R ET AL) 21 August 1984 (1984-08-21) cited in the application	7
A	column 3, line 10 -column 7, line 59; figures 1,2	1
A	DE 199 11 981 A (TYCO ELECTRONICS LOGISTICS AG) 19 October 2000 (2000-10-19) column 2, line 44 -column 3, line 48; figures 1,2	1,4,7

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

9 May 2003

Date of mailing of the international search report

20/05/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Wolf, S

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 02/04693

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0987570	A	22-03-2000	EP 0987570 A1	22-03-2000
			US 6246026 B1	12-06-2001
US 4710605	A	01-12-1987	NONE	
US 4467168	A	21-08-1984	CA 1188747 A1	11-06-1985
			EP 0062484 A1	13-10-1982
			JP 57209838 A	23-12-1982
DE 19911981	A	19-10-2000	DE 19911981 A1	19-10-2000

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 98/04693

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
 IPK 7 G02B6/25 B23K26/40

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
 IPK 7 G02B B23K C03B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)  
 EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	EP 0 987 570 A (WHITAKER CORP) 22. März 2000 (2000-03-22) das ganze Dokument	1-7
Y	US 4 710 605 A (PRESBY HERMAN M) 1. Dezember 1987 (1987-12-01) das ganze Dokument	1-7
Y	US 4 467 168 A (HINKENS DALE R ET AL) 21. August 1984 (1984-08-21) in der Anmeldung erwähnt	7
A	Spalte 3, Zeile 10 - Spalte 7, Zeile 59; Abbildungen 1,2	1

-/-



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

9. Mai 2003

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

20/05/2003

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
 Europäisches Patentamt, P.B. 5018 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Wolf, S

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 199 11 981 A (TYCO ELECTRONICS LOGISTICS AG) 19. Oktober 2000 (2000-10-19) Spalte 2, Zeile 44 -Spalte 3, Zeile 48; Abbildungen 1,2 -----	1,4,7

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT.

Angaben zu Veröffentlichungen, die derselben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 02/04693

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0987570	A	22-03-2000	EP 0987570 A1	22-03-2000
			US 6246026 B1	12-06-2001
US 4710605	A	01-12-1987	KEINE	
US 4467168	A	21-08-1984	CA 1188747 A1	11-06-1985
			EP 0062484 A1	13-10-1982
			JP 57209838 A	23-12-1982
DE 19911981	A	19-10-2000	DE 19911981 A1	19-10-2000